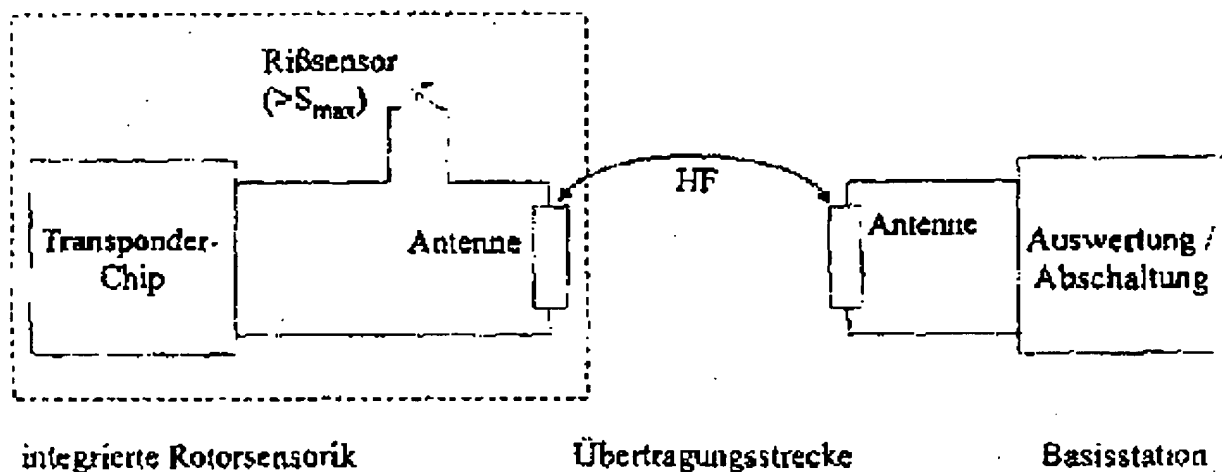


AN: PAT 2001-317804  
TI: Device for online monitoring of failure-tolerant high-performance rotors of composite material comprises a unit forming a transponder on a miniature electric circuit, an antenna circuit and a sensor for fractures.  
PN: **DE19923143-A1**  
PD: 23.11.2000  
AB: NOVELTY - A transponder connects to an external base station for transmitting information. A sensor for fractures with an adjusted fracture expansion connects to a failure-critical area in a high-performance rotor. Reaching critical failure stress leads to one or more short-term or permanent breaks in an antenna circuit and to detuning of the transponder linked with it. This is transmitted to the base station as information leading to a reduction in the speed of the high-performance rotor or to stopping it.; USE - For examining the expansion state of an object under load, especially a rotor. ADVANTAGE - Since warning sensors are permanently monitoring conditions, the unit can be switched off absolutely before an actual crash in the rotor if an expansion limit level is exceeded. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a block diagram of the present invention.  
PA: (UYDR ) UNIV DRESDEN TECH;  
FA: **DE19923143-A1** 23.11.2000;  
CO: DE;  
IC: G01B-007/16; G01M-013/00; G01N-003/56; G01N-027/20; H04B-001/59;  
MC: S02-A02D; S02-J03; S03-E02B; S03-F02B; W02-G05B; W05-D04A5; W05-D04G;  
DC: S02; S03; W02; W05;  
FN: 2001317804.gif  
PR: DE1023143 20.05.1999;  
FP: 23.11.2000  
UP: 22.06.2001





AD

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 23 143 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 N 27/20**  
H 04 B 1/59  
G 01 N 3/56  
G 01 B 7/16  
G 01 M 13/00

②① Aktenzeichen: 199 23 143.5  
②② Anmeldetag: 20. 5. 1999  
②③ Offenlegungstag: 23. 11. 2000

DE 199 23 143 A 1

⑦① Anmelder:  
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE

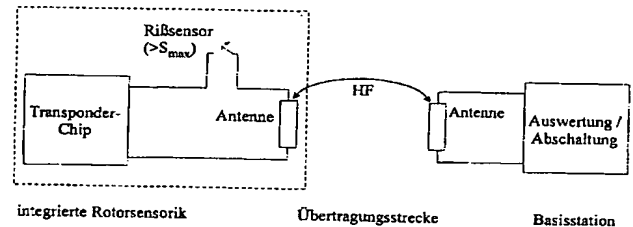
⑦② Erfinder:  
Erfinder wird später genannt werden

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:  
US 40 26 660

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Anordnung zur Online-Überwachung von versagenstoleranten Hochleistungsrotoren

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Online-Überwachung von versagenstoleranten Hochleistungsrotoren, vorzugsweise aus Verbundwerkstoffen, enthaltend eine einen Transponder bildende Einheit aus einem elektronischen Miniaturschaltkreis, einen Antennenkreis und wenigstens einen Rißsensor, die elektrisch miteinander verbunden auf oder im Hochleistungsrotor angeordnet sind, wobei der Transponder zum Senden von Information mit einer externen Basisstation koppelbar ist. Die Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Rißsensor (2; 4, 5) eine eingestellte Rißdehnung aufweist und flächig mit einem versagenskritischen Bereich des Hochleistungsrotors (1) verbunden ist, wobei das Erreichen kritischer Versagensspannungen zu einer ein- oder mehrmaligen kurzzeitigen oder bleibenden Unterbrechung des Antennenkreises (8) und damit verbundenen Verstimmung des Transponders (9) führt, die an die Basisstation als Information zum Abbremsen oder Abschalten des Hochleistungsrotors (1) gesendet wird.



DE 199 23 143 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Online-Überwachung von versagenstoleranten Hochleistungsrotoren, vorzugsweise aus Verbundwerkstoffen, enthaltend eine einen Transponder bildende Einheit aus einem elektronischen Miniaturschaltkreis, einem Antennenkreis und wenigstens einem Rißsensor, die elektrisch miteinander verbunden auf oder im Hochleistungsrotor angeordnet sind, wobei der Transponder zum senden von Information mit einer externen Basisstation koppelbar ist.

Die in der Praxis hauptsächlich verwendeten meßtechnischen Methoden zur Untersuchung des Dehnungszustandes eines belasteten Objektes und damit gegebener Rückschlußmöglichkeiten auf den Spannungszustand sind die Dehnungsmeßtechnik mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) sowie spannungsoptische Oberflächenschichtverfahren. Diese Methoden untersuchen nur den Oberflächendehnungszustand und setzen die Berechnungsmöglichkeit für die interessierenden im Bauteilinneren wirksamen Spannungs- und Dehnungszustände voraus.

Als wesentliche Nachteile der klassischen auf die Oberfläche aufgeklebten DMS als Meßelemente auf schnelllaufenden Rotoren ergeben sich:

- Zerstörung der DMS-Struktur, insbesondere der Löt-/Kontaktstellen, durch die bei sehr hohen Drehzahlen auftretenden Belastungen. Als Grenze für einen im Abstand von 10 mm vom Mittelpunkt angebrachten Sensor werden 100000 Umdrehungen je Minute abgeschätzt.
- Die Dehnungsmessung erfolgt lokal. Die Abschätzung der Belastung für eine beliebige Fläche ist mit dieser Technik ausgeschlossen.
- Die Compositwerkstoffe der Hochleistungsrotoren erlauben Betriebstemperaturen von bis zu 250°C. Die Grenztemperatur der aufgeklebten Sensorik liegt deutlich darunter und würde die Einsatzfähigkeit des Bauteils einschränken.

Ein wesentliches Kriterium beim Entwurf versagenstoleranter Bauteile/Rotoren in Verbundwerkstoffbauweise stellt die Integration einer geeigneten "Sollbruchstelle" ins Bauteil dar. Diese mechanische Erkennungsstruktur muß so ausgelegt sein, daß ein Versagen bzw. eine Zerstörung des Bauteils/Rotors an dieser Stelle nicht zu dem sonst typischen crashen der Verbundwerkstoffbauteile führt. Vielmehr muß die Grenzbelastung der Erkennungsstruktur kleiner sein als die Grenzbelastung des eigentlichen Bauteils/Rotors.

Wird eine solche Stelle durch eine Warnsensorik permanent überwacht, so kann bei Überschreitung eines Dehnungsgrenzwertes, die Anlage vor dem eigentlichen Crash des Rotors definiert abgeschaltet werden.

Die angestrebten Drehzahlen von Hochleistungsrotoren liegen im Bereich von einigen 10000 U/min bis über 100000 U/min. Hier können die auszuwertenden Informationen/Signale aus dem Rotor nur berührungslos zu einer entsprechenden Auswerteeinheit übertragen werden. Schleifringe o. ä. scheiden in diesem Drehzahlbereich prinzipbedingt aus.

Nachteile der Betriebsüberwachung schnelllaufender Rotoren auf Basis von Sensorsystemen, die eine permanente quasianaloge Dehnungsmessung im Bauteil/Rotor ausführen ergeben sich u. a. durch die Probleme der Datenübertragung aus dem Rotor. Die hierfür üblicherweise eingesetzten Telemetriesysteme nutzen zur Datenübertragung optische bzw. funktechnische Verfahren. Zum einen sind die Kosten für die im Bauteil notwendige Elektronik zur Datengewin-

nung, Datenauswertung und -übertragung (sog. Rotorelektronik) so hoch, daß eine serienmäßige Implementierung solcher Systeme in Standardrotoren ausscheidet. Zum anderen besitzt die Rotorelektronik eine, im Vergleich zum Rotor selbst nicht zu vernachlässigende Masse und Größe. Hier sind Probleme für Herstellung und Betriebsverhalten des Rotors zu erwarten.

Die z. B. aus der US 5 509 622 bekannte Rißüberwachung an Rotoren mittels Vakuumleitung und Drucksensor scheidet aufgrund nicht beherrschbarer Technologien bei der Herstellung für Verbundwerkstoffbauteile aus.

Aus der DE 197 20 747 A1 ist schließlich ein Sicherheitselement enthaltend eine einen Transponder bildende Einheit aus einem elektronischen Miniaturschaltkreis und einer elektrischen Wicklung, die elektrisch miteinander verbunden auf oder in einem gemeinsamen Träger angeordnet sind, wobei der Transponder zu seiner Identifizierung mit einem externen Lesegerät koppelbar ist, bekannt. Dieses Sicherheitselement ist dadurch gekennzeichnet, daß der Träger mindestens einen Sollbruchbereich aufweist, bei dessen Bruch die elektrische Verbindung zwischen Schaltkreis und Spule dauerhaft unterbrochen ist.

Außerdem ist aus der DE 44 15 824 C1 noch eine Anordnung einer Beschädigungs-Warnsensorik an den Meißelhalterungen des Schneidkopfes einer Teilschnittmaschine zur lokalen Erfassung von Beschädigungen der Meißelhalterungen mittels beschädigungssensitiver Sensorelemente bekannt. Der Meißelhalter ist mit einer Sensorhülle ummantelt und mit einem abriebfesten Material versehen. Jede Art der Meißelhalterdefekte wird durch beschädigungssensitive Sensorelemente zusammen mit einer Datenübertragungseinheit erfaßt und zur Anzeige gebracht.

Die Aufgabe der Erfindung besteht nun darin, die erforderlichen Meßelemente und Anschlußleitungen so mit einem Hochleistungsrotor zu verbinden, daß ein versagenkritischer Spannungszustand vor dem Craschen der rotierenden Werkstoffstruktur erkannt wird und zur Abbremsung oder Abschaltung des rotierenden Hochleistungsrotors ausgenutzt werden kann, wobei die erforderlichen Meßelemente in ihrem Aufwand auf ein Minimum beschränkt sein sollen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe in Verbindung mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen dadurch gelöst, daß der Rißsensor eine eingestellte Rißdehnung aufweist und flächig mit einem versagenkritischen Bereich des Hochleistungsrotors verbunden ist, wobei das Erreichen kritischer Versagensspannungen zu einer ein- oder mehrmaligen kurzzeitigen oder bleibenden Unterbrechung des Antennenkreises und damit verbundenen Verstimmung des Transponders führt, die an die Basisstation als Information zum Abbremsen oder Abschalten des Hochleistungsrotors gesendet wird.

Vorteilhaft weist der Rißsensor eine im Bereich von 0,8% bis 1,5% eingestellte Rißdehnung auf. Damit kann durch die Unterbrechung des Antennenkreises eine Information zu einem Zeitpunkt gesendet werden, zu dem sich die Spannungszustände im Hochleistungsrotor noch nicht versagenkritisch ausgewirkt haben.

Die ungewöhnlich niedrige Rißdehnung kann auf verschiedene Weise eingestellt werden. Dies kann vorteilhaft durch geeignete Materialwahl erfolgen oder durch eine Behandlung des Materials, die zu einer entsprechenden Änderung der Materialeigenschaften führt.

Eine vorteilhafte Variante zur Herstellung eines dehnungsempfindlichen Rißsensors besteht im Ätzen einer Metallfolie, die planeben auf das Bauteil aufgebracht wird. Die Vorteile liegen dabei in einer höheren Betriebstemperatur (> 250°C) und einer hohen mechanischen Belastbarkeit deren

Grenzen erst durch die Grenzwerte des gesamten Bauteils gegeben sind, sowie in der Gestaltung bauteilspezifischer Geometrien.

Ebenso ist der Einsatz von C-Fasern als Rißsensor möglich. Vorteilhaft ist hier, daß bei Hybridstrukturen aus Werkstoffen sehr unterschiedlicher elastischer Kennwerte, die Dehnungsmessung in den Komponenten mit hohem Elastizitätsmodul direkt erfolgen kann. Die dehnungsabhängige Widerstandsänderung der C-Fasern ist ausreichend linear, der Hysteresefehler gering.

Vorteilhaft ist die elektrisch leitfähige Struktur des Rißsensors Bestandteil des Antennenkreises.

Eine vorteilhafte Ausführungsform besteht darin, wenigstens 2 Rißsensoren als Reihenschaltung in einem Antennenkreis derart vorzusehen, daß entsprechend mehrere versagenskritische Bereiche des Hochleistungsrotors überwacht werden, wobei das Erreichen einer kritischen Versagensspannung zur Unterbrechung des Antennenkreises führt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Hochleistungsrotor dazu neigt, sein Versagen durch die Ausbildung von Mikrorissen anzuzeigen.

Die Besonderheit der Erfindung besteht darin, daß nicht wie erwartungsgemäß ein analoger Dehnungszustand gemessen wird, sondern bei der Messung nur auf den Zustand "Grenzdehnung überschritten" abgestellt wird. Dazu muß der verwendete Rißsensor eine ungewöhnlich niedrige Rißdehnung von vorzugsweise 0,8 bis 1,5% aufweisen, damit eine schädliche Auswirkung der Dehnung ausbleibt. Von einer entfernt angeordneten Basisstation wird ein HF-Feld ausgesendet, in dessen Wirkungsbereich sich der Antennenkreis befindet. Der Transponder versorgt sich durch dieses Feld mit Energie und sendet kontinuierlich Daten zur Basisstation.

Die Signalauswertung erfolgt direkt durch die Einheit aus Transponder und Antennenkreis. Der Rißsensor kann dabei in die Zuleitung der Antenne integriert werden oder selbst den Antennenkreis bilden. Er überwacht die erwähnte mechanische Struktur hinsichtlich einer auftretenden Grenzdehnung.

Er besteht im einfachsten Fall aus einer elektrisch leitfähigen Struktur (Draht, Folie o. ä.), die derart auf einem versagenskritischen Bereich appliziert ist, daß sie bei Überschreiten einer vorgegebenen Grenzdehnung bzw. bei Zerstörung der Erkennungsstruktur zerreißt, so daß der elektrische Widerstand zwischen den beiden Sensorausgängen hochohmig wird. Dadurch wird die Zuleitung zur Transponderantenne unterbrochen. Der Transponder kann keine Daten mehr senden. Dieser Zustand wird in der Basisstation als Information zum Abschalten/Abbremsen des Rotors erkannt.

Die Vorteile der Erfindung bestehen in den geringen Kosten (einige 10,- DM), den geringen Abmessungen (Integration ins Bauteil) und dem geringen Gewicht (Betriebsverhalten) des Transponders.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Ausführungsbeispielen noch näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

**Fig. 1** ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung der Erfindung,

**Fig. 2** einen Scheibenrotor mit auf einen Bereich begrenzt aufgetragenen Rißsensor und Darstellung des Dehnungsverlaufs als Funktion des Radius,

**Fig. 3** einen Scheibenrotor mit flächig aufgetragenen Rißsensor,

**Fig. 4** einen Rißsensor in Seitenansicht,

**Fig. 5** einen Rißsensor in Draufsicht,

**Fig. 6** einen Rißsensor in Seitenansicht nach dem Riß,

**Fig. 7** einen Rißsensor in Draufsicht nach dem Riß,

**Fig. 8** einen Rißsensor in Seitenansicht bestehend aus Beschichtung und Grundkörper.

In der **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild zur Veranschaulichung der Erfindung dargestellt. Der linke Teil zeigt eine integrierte Rotorsensorik, die aus Transponder 9, Rißsensor und Antennenkreis 8 besteht. Der rechte Teil zeigt die außerhalb des Hochleistungsrotors 1 befindliche Basisstation, bestehend aus Auswerteschaltung und eigenem Antennenkreis. Beide Teile sind durch eine HF-Übertragungsstrecke miteinander koppelbar.

In der **Fig. 2** ist ein als Scheibenrotor ausgebildeter Hochleistungsrotors 1 dargestellt, dessen Oberfläche teilweise mit einer strukturierten Metallfolie 2 belegt ist. Die Metallfolie 2 fungiert als Rißsensor und als Antennenkreis 8. An den beiden Enden der strukturierten Metallfolie 2 ist ein Transponder 9 angeschlossen. Die Metallfolie 2 wird zweckmäßiger Weise zunächst ganz ein- oder beidseitig auf der Oberfläche des Hochleistungsrotors 1 aufgebracht und anschließend fotochemisch strukturiert.

In der **Fig. 2** wird außerdem ein Diagramm zur Darstellung der Dehnung als Funktion des Radius für eine rotatorische Belastung eines Hochleistungsrotors 1 gezeigt. Für die Tangentialdehnung ergibt sich ein Maximalwert am Innenradius. Zur Erfassung dieser Tangentialdehnung ist die Metallfolie 2 in diesem Bereich etwa spiralförmig strukturiert. Die Radialdehnung weist einen Maximalwert im Bereich zwischen Innen- und Außenradius auf. Zur Erfassung kritischer Radialdehnungen überdeckt dazu die strukturierte Metallfolie 2 den entsprechenden Bereich etwa meanderförmig.

In der **Fig. 3** ist eine Metallfolie 2 auf der Oberfläche eines Hochleistungsrotors 1 spiralförmig strukturiert und dient in ihrer gesamten Ausdehnung als Rißsensor und Antennenkreis 8. Bei dieser Ausführung überwacht der Rißsensor quasi die gesamte Fläche des Hochleistungsrotors 1, und dient damit der Erfassung von Mikrorissen 9. Für eine günstige Masseverteilung ist der Transponder 9 am Rotorinnenradius angebracht. Die Zuleitung vom Außenradius erfolgt elektrisch isoliert.

**Fig. 4** zeigt einen Schnitt durch eine Bauteil, welches einen Rißsensors in Form einer Metallfolie 2 auf einem Hochleistungsrotor 1 darstellt. Die Lötstützpunkte 3 dienen zur Kontaktierung mit einem Antennenkreis 8 oder einem Transponder 9. Die Ausrichtung des Rißsensors erfolgt in der zu überwachenden Richtung maximaler Dehnung. Der Kontakt des Rißsensors mit dem Hochleistungsrotors 1 ist dabei vollflächig und planeben. **Fig. 5** zeigt die zugehörige Draufsicht.

Die Darstellung in den **Fig. 6** und **7** entspricht denen in **Fig. 4** und **5** nach Entstehung eines Risses im Hochleistungsrotors 1. Durch den vollflächigen und planebenen Kontakt wird der Riß bei entsprechend niedrig eingestellter Rißdehnung auf den Rißsensor, hier in Form einer Metallfolie 2, sofort übertragen, was zu einer Unterbrechung des Antennenkreises 8 führt.

In der **Fig. 8** ist eine weitergehende Ausbildung eines Rißsensors dargestellt. Dazu ist ein Grundkörper 4, beispielsweise aus Keramik, mit einer leitfähigen Beschichtung 5 versehen. Der Grundkörper ist seinerseits vollflächig und planeben mit einem Hochleistungsrotor 1 verbunden. Bei dieser Anordnung erfolgt die Einstellung der erforderlichen Rißdehnung durch entsprechende Materialwahl des Grundkörpers 4. Ein im Grundkörper 4 fortgesetzter Riß führt zu einer Unterbrechung der metallischen Beschichtung 5, die selbst nicht auf Dehnung beanspruchbar ist.

#### Bezugszeichenliste

1 Hochleistungsrotor

2 Metallfolie  
 3 Lötstützpunkt  
 4 Grundkörper  
 5 Beschichtung  
 6 Mikroriß  
 7 Rotornabe  
 8 Antennenkreis  
 9 Transponder

5

## Patentansprüche

10

1. Anordnung zur Online-Überwachung von versagenstoleranten Hochleistungsrotoren, vorzugweise aus Verbundwerkstoffen, enthaltend eine einen Transponder bildende Einheit aus einem elektronischen Minia-  
 15 turschaltkreis, einem Antennenkreis und wenigstens einem Rißsensor, die elektrisch miteinander verbunden auf oder im Hochleistungsrotor angeordnet sind, wobei der Transponder zum senden von Information mit einer externen Basisstation koppelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rißsensor (2; 4, 5) eine eingestellte  
 20 Rißdehnung aufweist und flächig mit einem versagenkritischen Bereich des Hochleistungsrotors (1) verbunden ist, wobei das Erreichen kritischer Versagensspannungen zu einer ein- oder mehrmaligen kurzzeitigen  
 25 oder bleibenden Unterbrechung des Antennenkreises (8) und damit verbundenen Verstimmung des Transponders (9) führt, die an die Basisstation als Information zum Abbremsen oder Abschalten des Hochleistungsrotors (1) gesendet wird.  
 30 2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rißsensor (2; 4, 5) eine im Bereich von 0,8% bis 1,5% eingestellte Rißdehnung aufweist.  
 3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rißdehnung durch Behandlung  
 35 des Materials des Rißsensors (2; 4) einstellbar ist.  
 4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Rißsensor (2; 4, 5) Bestandteil des Antennenkreises (8) ist.  
 5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, da-  
 40 durch gekennzeichnet, daß wenigstens 2 Rißsensoren (2; 4, 5) als Reihenschaltung in einem Antennenkreis (8) derart vorgesehen sind, daß entsprechend mehrere versagenkritische Bereiche des Hochleistungsrotors  
 45 überwacht werden, wobei das Erreichen einer kritischen Versagensspannung zur Unterbrechung des Antennenkreises (8) führt.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

- Leerseite -

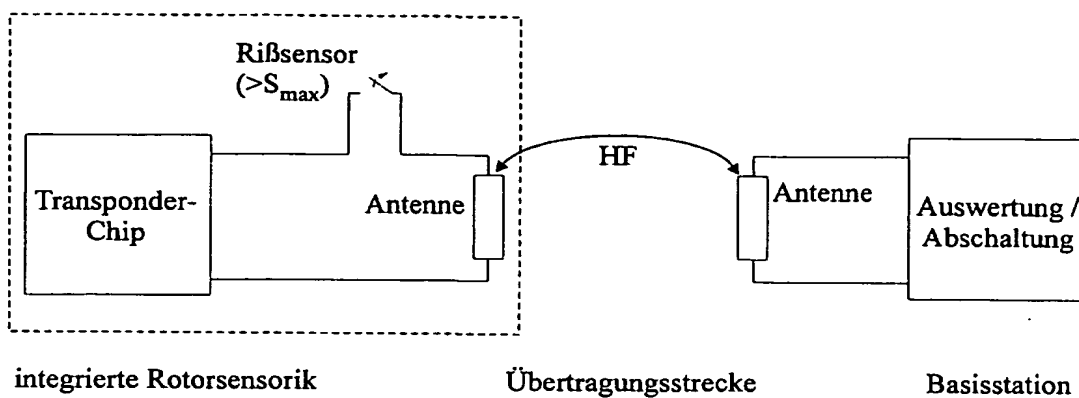


Fig. 1

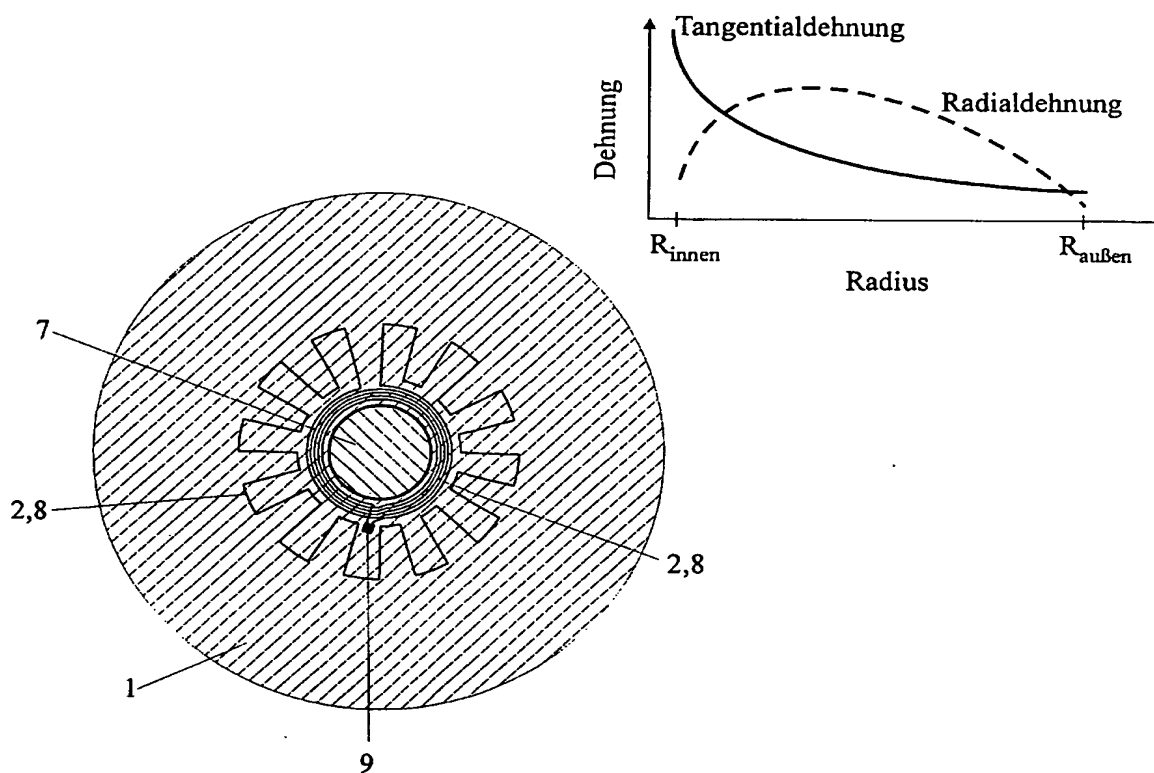


Fig. 2

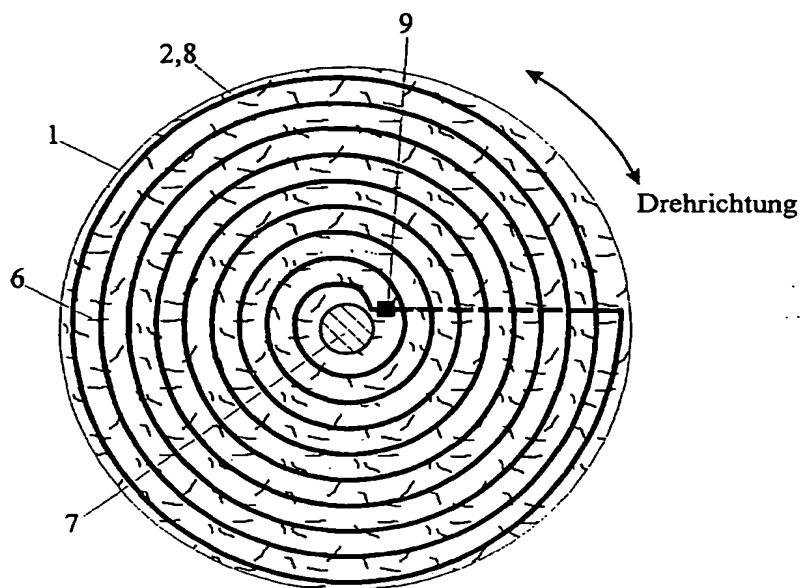


Fig. 3

Seitenansicht

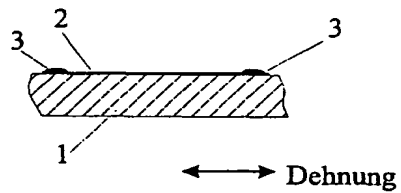


Fig. 4

Draufsicht

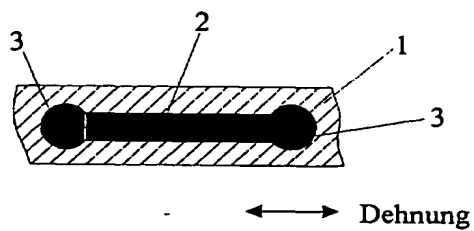


Fig. 5



nach dem Reißen der Struktur

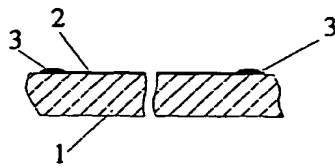


Fig. 6

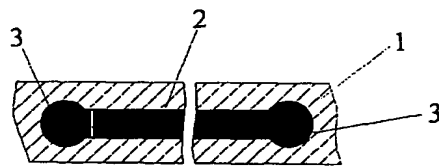


Fig. 7

Seitenansicht

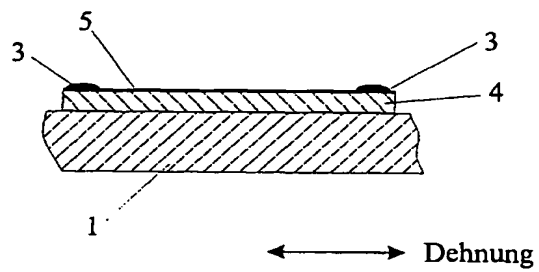


Fig. 8